

## ➤ SCHEMATISEREN

Arny Lengkeek  
(Witteveen+Bos)

Pilot-cursus  
langsconstructies  
27 oktober 2016



## Onderwerpen

- Grondmechanische schematisering (case)
- Opzet PLAXIS-model (case)

## Grondmechanische schematisering

Stappen t.b.v. grondmechanische schematisering:

- Randvoorwaarden constructie en omgeving bepalen
- Basisschematisatie maatgevende doorsnede(n) opzetten

## Grondmechanische schematisering

Relevant randvoorwaarden voor ontwerp/toetsing van constructief versterkte primaire waterkering:

- Basisgegevens primaire waterkering
- Randvoorwaarden omgeving
- Randvoorwaarden belasting
- **Randvoorwaarden sterkte**

[Ref: Ontwerp stabiliteitsscherm (groene versie) (2013), WTI 2017 Toetsregels Kunstwerken (2015)]

# Grondmechanische schematisering

## Randvoorwaarden sterkte (1)

- Bodemopbouw:
  - Geotechnisch dwars- en lengteprofiel
  - Zettingsverloop in de tijd van dijk en voor- en achterland
  - Boringen en sonderingen incl. locaties

# Grondmechanische schematisering

## Randvoorwaarden sterkte (2)

- Grondparameters:
  - Volumegewicht grond (verzadigd en onverzadigd)
  - Schuifsterkteparameters
  - Stijfheidsparameters
  - Doorlatendheden
  
- Op basis van:
  - Veldonderzoek (boringen en sonderingen)
  - Monitoring
  - Laboratoriumonderzoek (celproef, triaxiaalproef of (direct) simple shear proef)

# Grondmechanische schematisering

## Randvoorwaarden sterkte (3)

- Geohydrologische randvoorwaarden:
  - Stijghoogte grondwater in (Pleistocene) zandlagen
  - Verloop freatisch vlak in de dijk
- Op basis van:
  - Lokale waterspannings- en peilbuismetingen
  - Geohydrologische kaarten

# Grondmechanische schematisering

## Randvoorwaarden sterkte (4)

- Constructieve randvoorwaarden:
  - Geometrie-gerelateerde gegevens constructieve elementen (damwand en evt. ankerstaaf, gordingen)
  - Materiaalkwaliteit constructieve elementen
  - Sterkte- en stijfheidsgedrag constructieve elementen
    - Vloeispanning
    - Stijfheid
    - Materiaalfactoren
    - Openingen

# Grondmechanische schematisering

## Randvoorwaarden sterkte (5)

- Corrosietoeslag:
  - Aanpassing benodigde dikte damwandprofiel en ankerstaaf
  - Nieuwe richtlijn beschikbaar, anders dan vermeld in richtlijn  
*"Ontwerp stabiliteitsschermen (type II) in primaire waterkeringen (groene versie)"*

# Grondmechanische schematisering

## Randvoorwaarden sterkte (6)

- Corrosietoeslag:
  - Damwandplanken:
    - ENW advies: 'Advies hanteren nieuwe waarden corrosietoeslag' uit 2014, referentie: ENW-14-12

	Corrosietoeslag totaal (mm)	
	Levensduur 50 jaar	Levensduur 100 jaar
Ongeroerde, schone grond en permanent beneden de grondwaterspiegel.	1,2	2,4
Geroerde grond of verticale grondwaterbeweging, of boven grondwaterspiegel.	2,4	4,4

- Ankerstangen:
  - Ankerstangen vallen niet onder dit protocol. Eurocode 3 verwijst voor deze toepassing naar de norm EN 1537.

## Grondmechanische schematisering

Vier stappen om tot een schematisatie te komen:

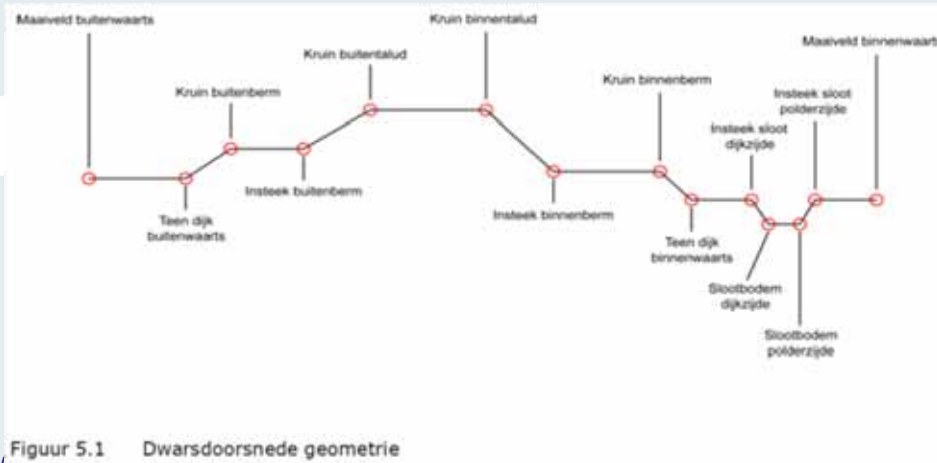
- Karakterisering grondopbouw in omgeving van dijk
- Schematisering opbouw dijk en ondergrond
- Schematisering waterspanningen in onderkende grondeenheden
- Keuze maatgevend dwarsprofiel

## Grondmechanische schematisering

- Aanvullend grondonderzoek zou onzekerheden kunnen verkleinen om schematiseringsfactor te verkleinen
- Anders onzekerheden in basisschematisatie verwerken om schematiseringsfactor te verkleinen
- In een EEM-analyse wordt één basisschematisatie gehanteerd voor de geotechnische en constructieve toets.

# Grondmechanische schematisering

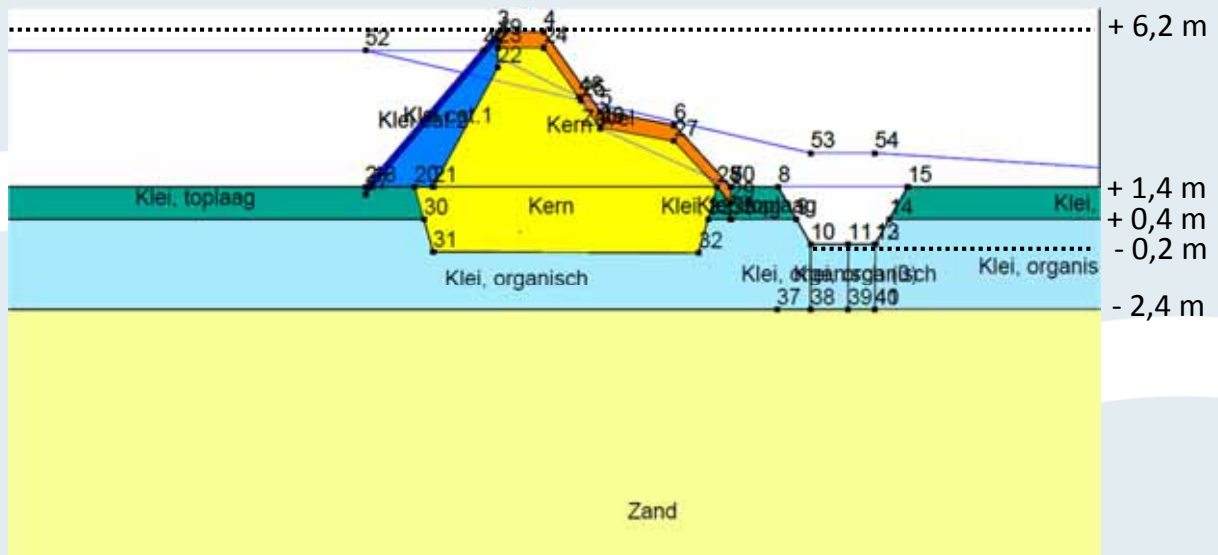
- Uitwendige geometrie bepalen op basis van ligging karakteristieke punten



Figuur 5.1 Dwarsdoorsnede geometrie  
*(ver. schematiseringshandleiding macrostabiteit, WBI 2017)*

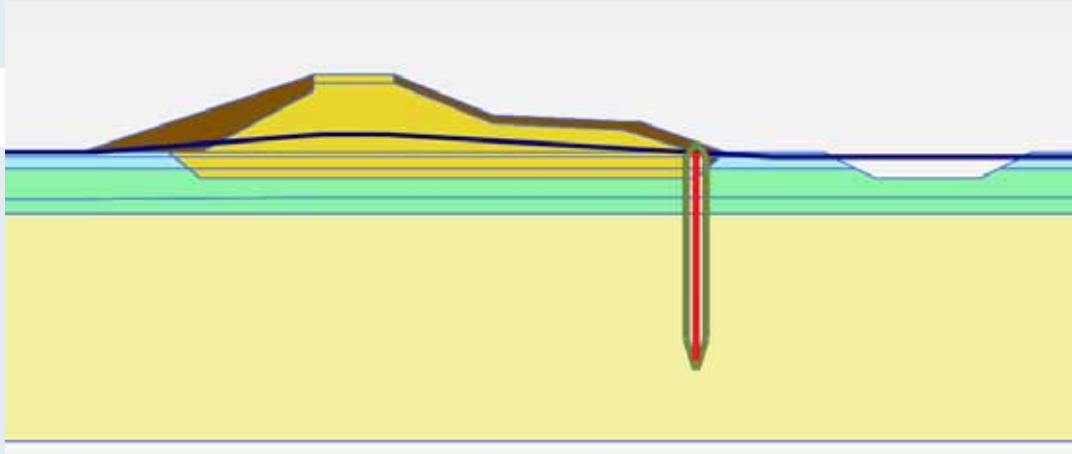
# Grondmechanische schematisering

Maatgevend dwarsprofiel Dstab (niet op schaal)



## Grondmechanische schematisering - Case

- Maatgevend dwarsprofiel Plaxis
- Advies: coördinaten invoeren op 1 decimaal



## Grondmechanische schematisering - Case

- Uitwendige geometrie

	Hoogte [m +NAP]
Kruinhoogte	6,2
Minimale maaiveldhoogte	1,4
Maximale maaiveldhoogte	1,8
Kruinbreedte	5,0

Helling buitentalud: 1:3,0

Helling binnentalud: 1:2,5

Talud sloot: 1:2,0



# Grondmechanische schematisering - Case

## ⇒ Schematisering ondergrond

### ⇒ Grondparameters:

Ondergrond	$\gamma_{\text{nat;rep}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_{\text{kar;2\%}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'_{\text{kar;2\%}}$ [°]
Klei, toplaag	18,2	5,0	25,0
Klei, organisch	15,2	2,9	17,1
Zand, Pleistoceen (dijk)	20,0	1,0	30,0
Klei, deklaag	17,0/17,0	5,0	25,0
Zand, kern	19,4/20,0	0,0	32,8

## Opzet PLAXIS-model (1)

- ⇒ Open een nieuw project
- ⇒ 'Project properties' opent standaard bij een nieuw project
- ⇒ Geef onder het tabblad 'Project' een duidelijke naam aan het project, vermeld hier in ieder geval:
  - ⇒ Welke snede
  - ⇒ Welke toets wordt uitgevoerd (BGT/UGT)
  - ⇒ Versienummer
- ⇒ Ga naar het tabblad 'model' om de afmetingen van het model op te geven.

## Opzet PLAXIS-model (2)

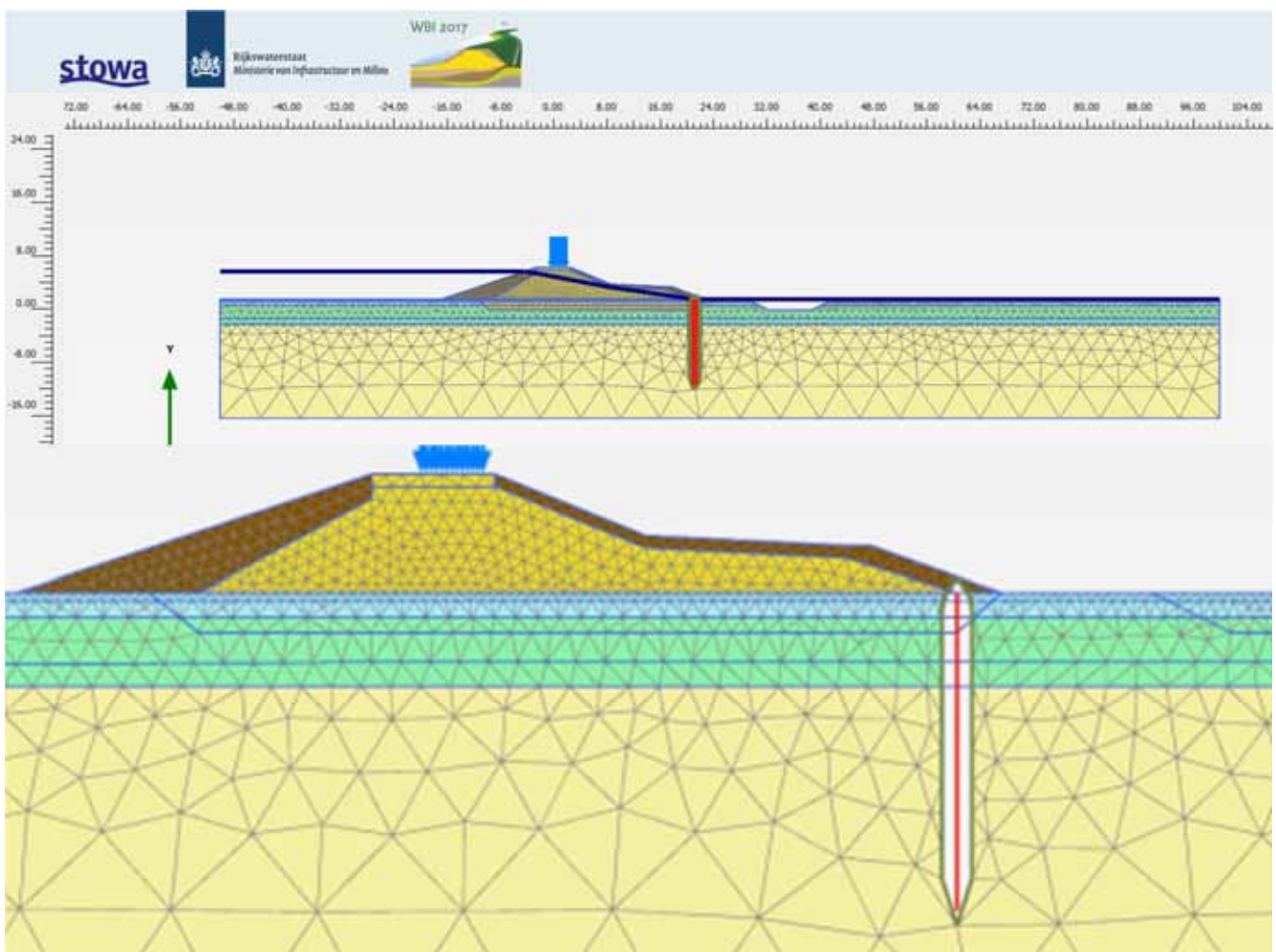
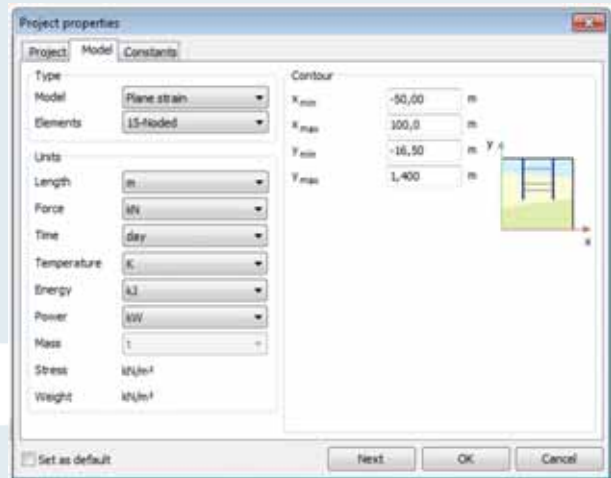
- Afmetingen model bepalen
  - Uitgangspunt: randen van het model mogen geen invloed hebben op de resultaten van de berekening
  - Een (te) groot model leidt tot hogere rekestijden
  - Geen eenduidig criterium voor grootte van het model. Achteraf noodzakelijk om invloed van randen te verifiëren.

## Opzet PLAXIS-model (3)

- Afmetingen model bepalen
  - CUR166 geeft handreikingen voor afstanden van modelranden voor situaties waarin damwandconstructies worden beschouwd in EEM-modellen
    - Horizontale onderrand:
      - Samenvallen met bovenkant zettingsongevoelige laag
      - 5 meter onder onderkant van damwand
    - Verticale randen:
      - Passieve zijde: minimaal 3x inbeddingsdiepte

## Opzet PLAXIS-model (4)

- Ga binnen 'Project Properties' naar het tabblad 'model' om de afmetingen van het model te definiëren.
- Kies voor het standaard aangegeven 'Plane strain' model en de '15-noded' elementen.
- Eenheden en constanten zijn standaard ingevuld, maar kunnen desgewenst worden aangepast



## Opzet PLAXIS-model (5)

### Materiaalmodellen (1)

- Constitutieve materiaal modellen in PLAXIS beschrijven de spannings-rek gedrag van de grond, op basis van modelparameters
- Keuze afhankelijk van hoeveelheid beschikbare grondgegevens
- Relaties beschikbaar om modelparameters te bepalen op basis van in-situ testen, grondsoort en grondeigenschappen

## Opzet PLAXIS-model (6)

### Materiaalmodellen (2)

- Mohr-Coulomb (MC)
  - Meest eenvoudige model, lineair elasto-plastisch model
  - Sterkte beschreven door drie parameters
    - Interne wrijvingshoek ( $\varphi$ )
    - Dilatantiehoek ( $\psi$ )
    - Cohesie ( $c$ )
  - Sterktegedrag wordt bepaald door Mohr-Coulomb faalcriterium
  - Elastische vervormingen beschreven door een lineair elastisch model met een secans stijfheid ( $E_{50}$ ) en een dwarscontractiecoëfficiënt ( $\mu$ )
  - MC goed te gebruiken in vergelijking met gelijkvlakmethode van Bishop

## Opzet PLAXIS-model (7)

### Materiaalmodellen (3)

- Hardening Soil (small strain) (HS/HSsmall)
  - Niet-lineair elasto-plastisch model
  - Voorgescreven model bij grond-constructie interactie
  - Sterktegedrag gebaseerd op het Mohr-Coulomb faalcriterium
  - Stijfheid spanningsafhankelijk
  - Plastische schuifrek ten gevolge van primaire deviatorische belasting (friction hardening);
  - Plastische volumerek ten gevolge van primaire samendrukking (compaction hardening);
  - Elastisch gedrag in ontlasting en herbelasting;
  - Bij Hardening Soil small strain (Hsmall) is de stijfheid ook rekafhankelijk (van belang in BGT)

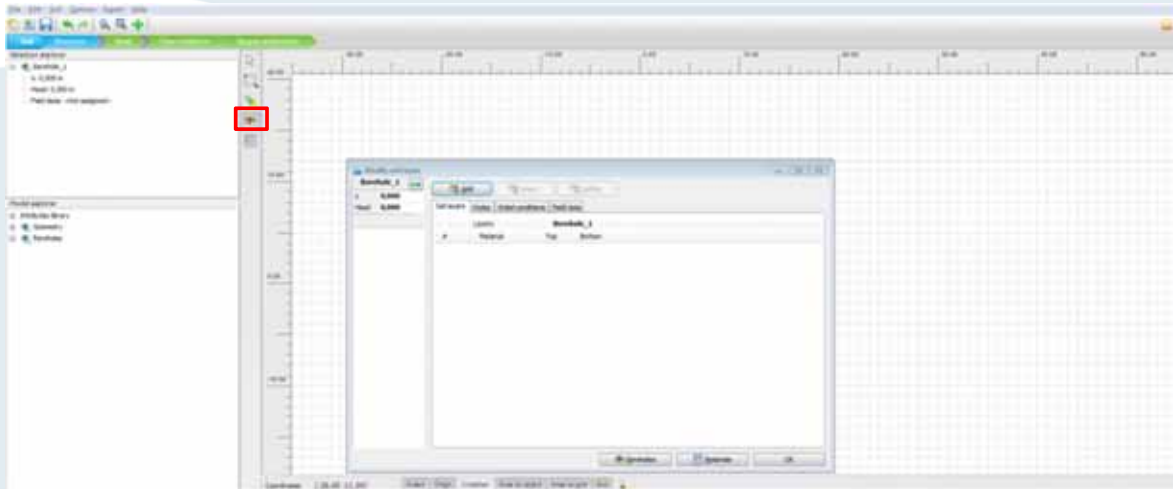
## Opzet PLAXIS-model (8)

### Materiaalmodellen (4)

- Soft Soil Creep (SSC)
  - Niet-lineair Elasto-plastisch model
  - Model beschouwd kruip
  - Sterktegedrag gebaseerd op Mohr-Coulomb faalcriterium
  - Elastisch gedrag in ontlasting en herbelasting

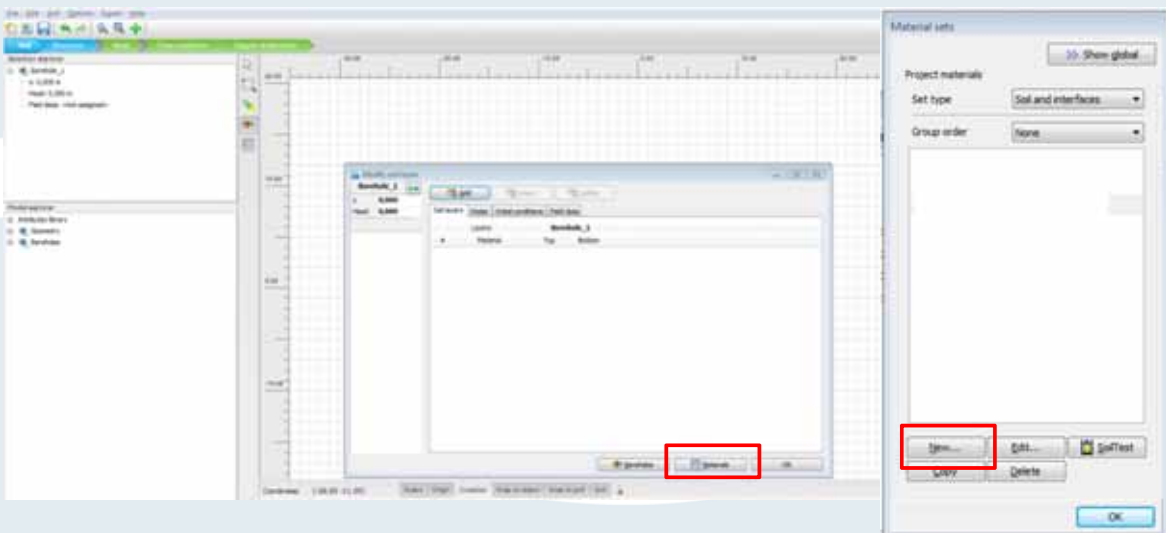
## Opzet PLAXIS-model – Case (1)

- Creëer een eerste 'borehole' op coördinaat (-2.500:0.000) (rand kruin – buitentalud)
- Creëer een eerste 'borehole' op coördinaat (-2.500:0.000) (rand kruin – buitentalud)



## Opzet PLAXIS-model – Case (2)

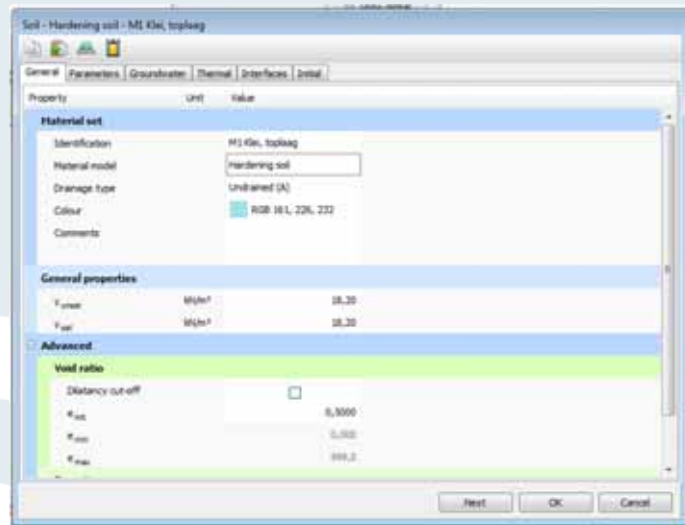
- Definieer materiaaleigenschappen van grondsoorten door op 'Materials' te klikken en op vervolgens 'New'





## Opzet PLAXIS-model - Case (3)

- Kies een materiaal model, in dit geval 'Hardening Soil'
- Kies voor ondoorlatende lagen bij 'Drainage type' voor 'Undrained(A)' en bij doorlatende lagen voor 'Drained'
- Geef vervolgens alle modelparameters op van de beschouwde grondsoort

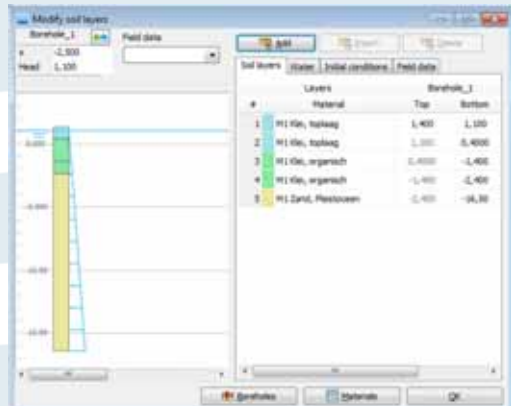


## Opzet PLAXIS-model - Case (4)

- Modelparameters voor:
  - **Zand:** relaties beschikbaar voor modelparameters op basis van conusweerstand ( $q_c$ )
  - **Klei:** Laboratorium- proeven (TA, OED) uitvoeren om benodigde modelparameters af te leiden

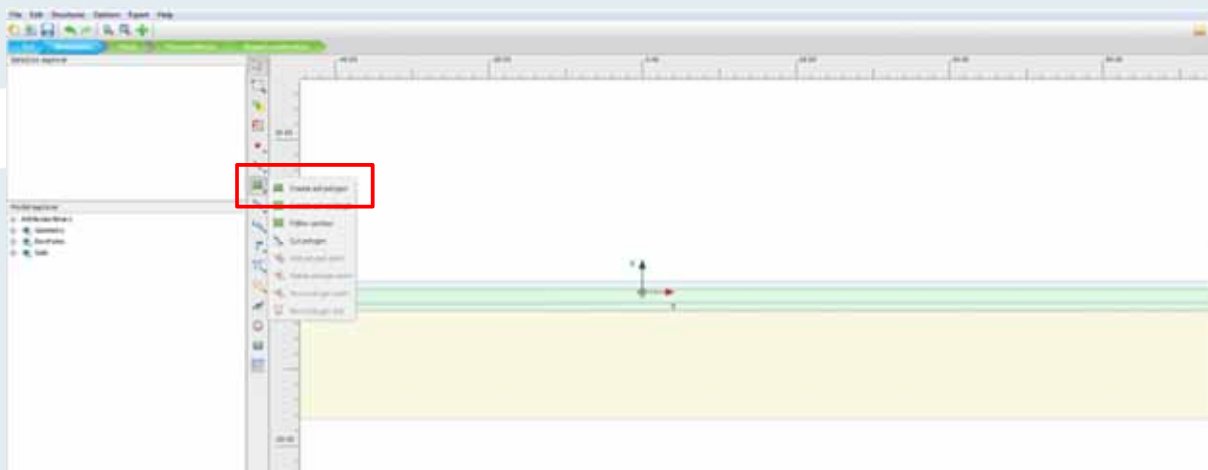
## Opzet PLAXIS model – Case (5)

- Maak lagen aan in de borehole door op 'Add' te klikken
- Geef niveau van boven- en onderkant van elke laag op en ken de materiaal eigenschappen toe
- Tip: breng extra laagscheidingen ter hoogte van:
  - Polderpeil
  - Indringingsdiepte
- Deze worden later gebruikt bij het definiëren van stijghoogtes



## Opzet PLAXIS model – Case (6)

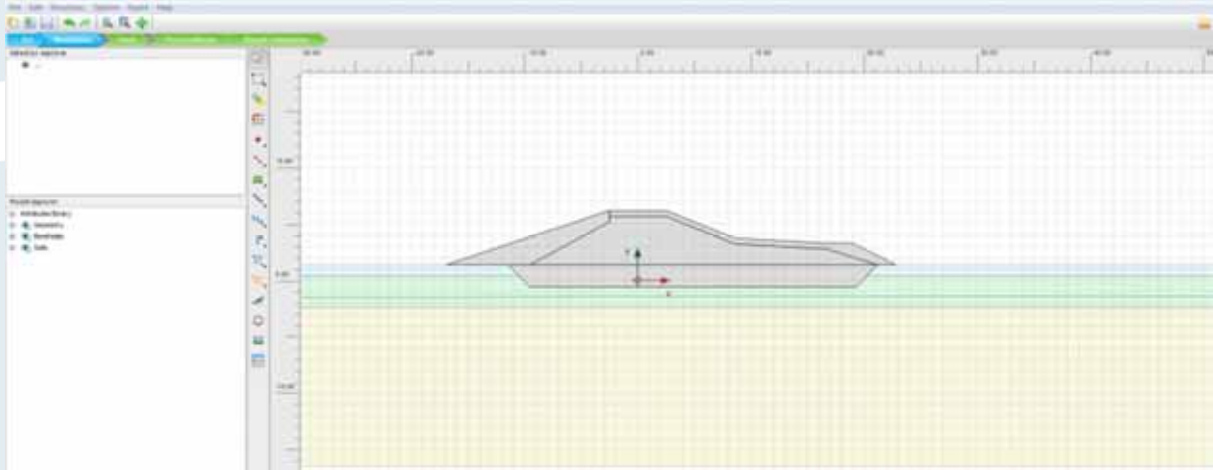
- Klik op het tabblad 'Structures'
- Met behulp van 'Soil Polygons' wordt de geometrie van het dijklichaam opbouwen





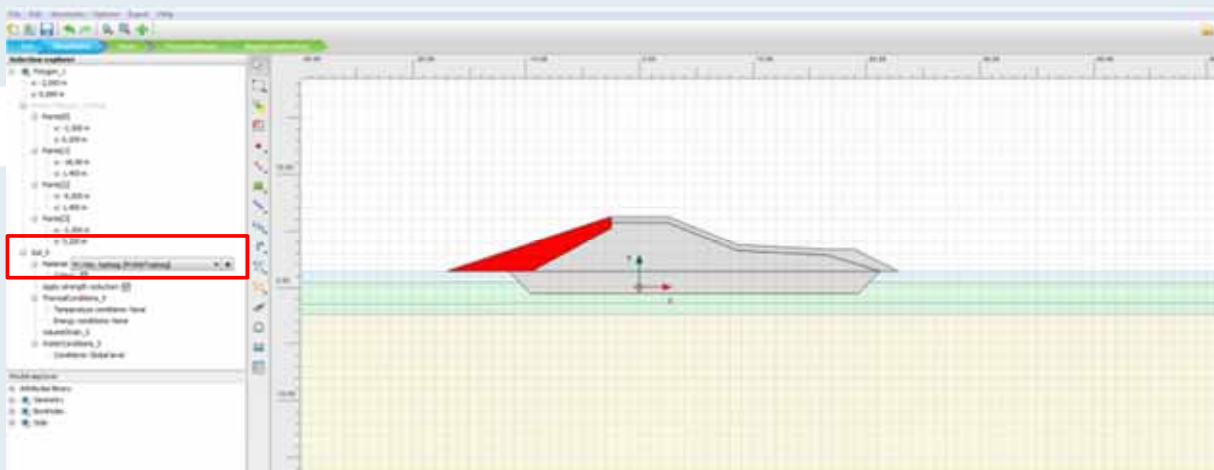
## Opzet PLAXIS-model – Case (7)

- Met 'Soil Polygons' kunnen verschillende grond eenheden worden gerealiseerd door de hoekpunten te definiëren
- De geometrie volgt uit de gekozen basisschematisatie



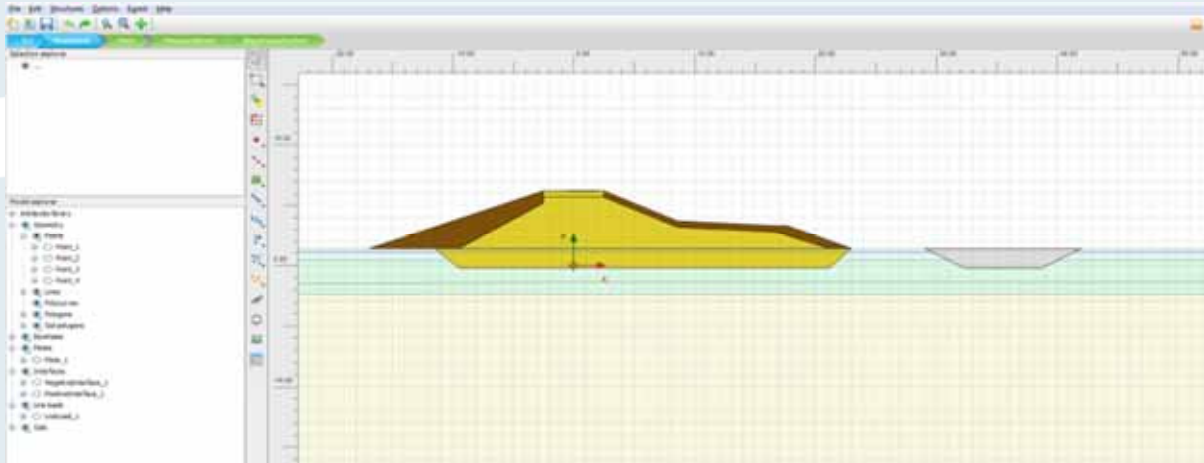
## Opzet PLAXIS-model Case (8)

- Aan de verschillende grond elementen kunnen materiaaleigenschappen worden toegekend, welke bij 'Materials' kunnen worden gedefinieerd



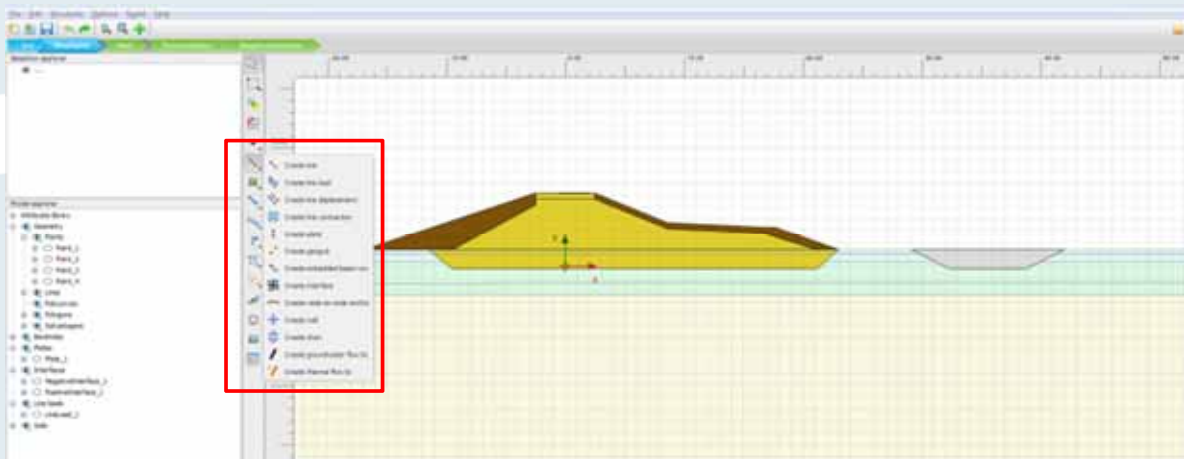
# Opzet PLAXIS-model – Case (9)

- De sloot in het achterland wordt ook met een 'Soil Polygon' gecreëerd, zonder materiaaleigenschappen toe te kennen



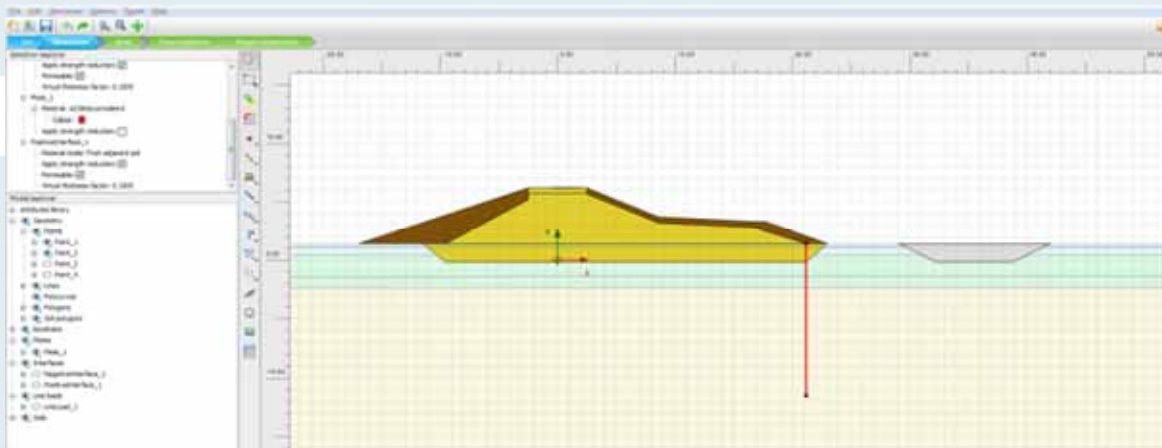
# Opzet PLAXIS-model – Case (10)

- De damwand wordt gemodelleerd als een plaat met de eigenschappen van de stalen damwandplank



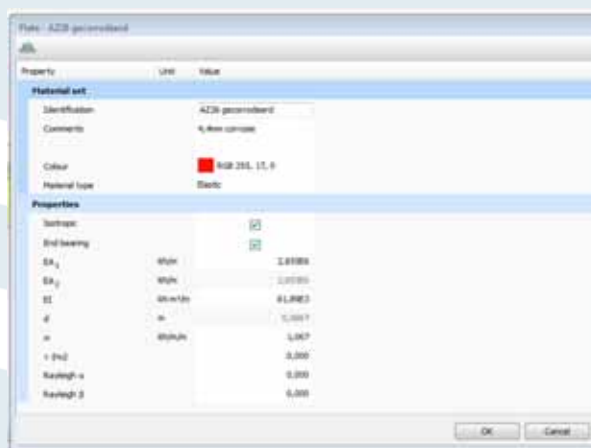
## Opzet PLAXIS model – Case (11)

- Damwand in de teen aan de binnenzijde geplaatst
- Let op: locatie damwand case specifiek, ook mogelijk om in binnentalud te plaatsen



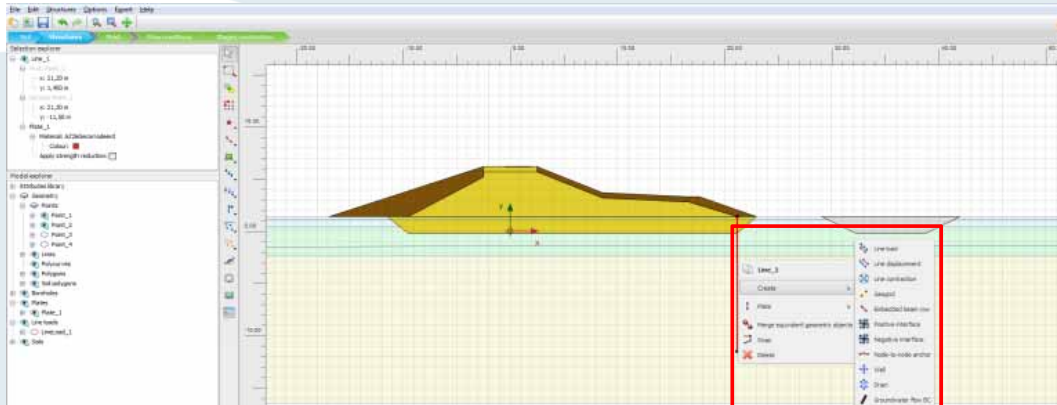
## Opzet PLAXIS-model – Case (12)

- De eigenschappen van de damwand kunnen ook bij 'Materials' worden gedefinieerd
- Kies bij 'Set type' voor 'Plates' en klik vervolgens op 'New'
- Toegepaste damwand: AZ26



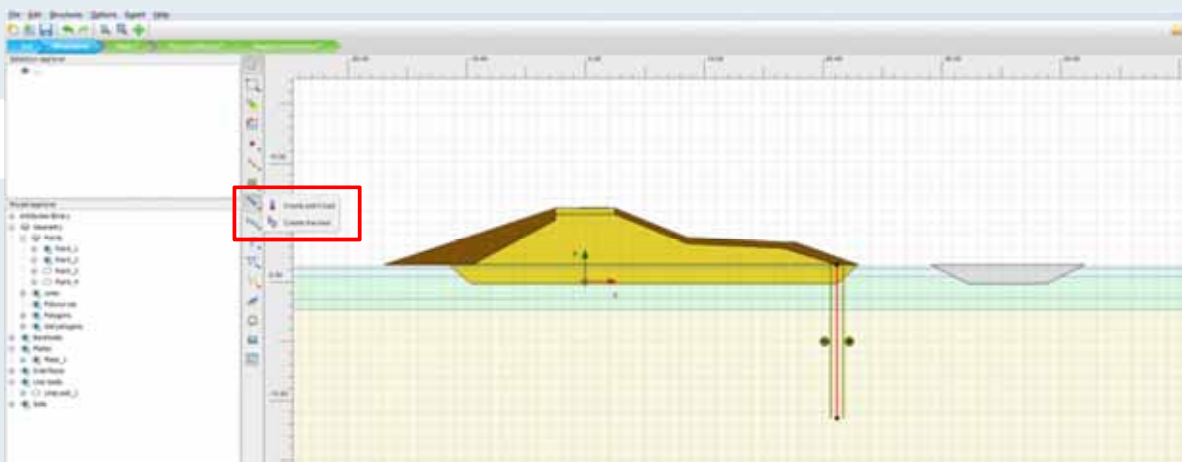
# Opzet PLAXIS-model – Case (13)

- Definieer positieve en negatieve interface elementen van de kademuur
- Definieer  $R_{inter}$  bij de soil layers
- Indicatie:  $R_{inter} = 0,00$  (veen),  $R_{inter} = 0,50$  (klei),  $R_{inter} = 0,66$  (zand) [Ref: WTI2017 Toetsregels Kunstwerken]



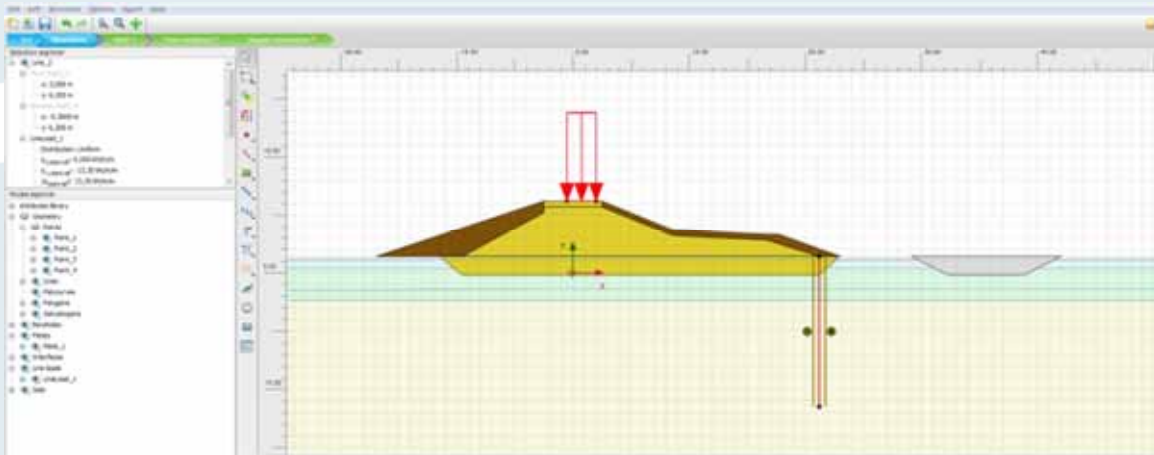
# Opzet PLAXIS-model - Case (14)

- Verkeersbelasting op het grondlichaam wordt geschematiseerd als een lijnlast



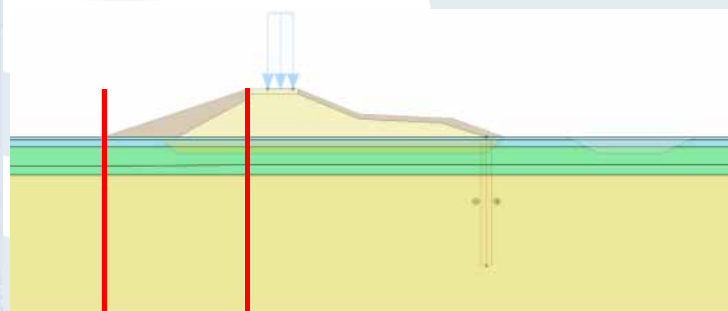
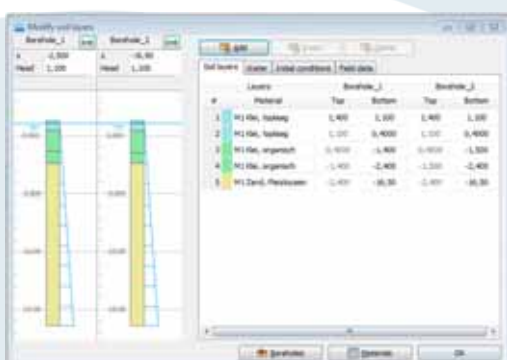
## Opzet PLAXIS-model – Case (15)

- ⇒ Lijnlast is 2,50 meter breed en 0,50 meter uit de rand van het binnentalud op de kruin



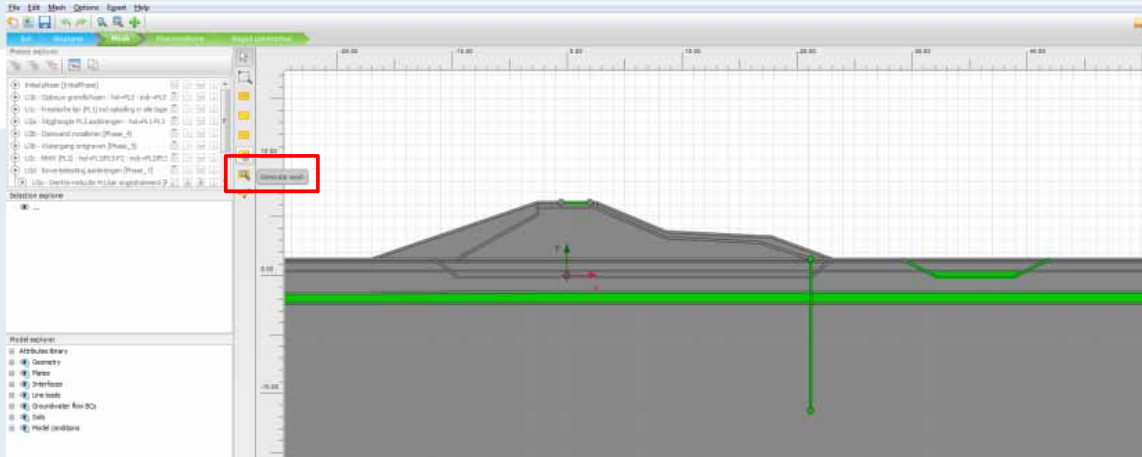
## Opzet PLAXIS model – Case (16)

- ⇒ Tip: creëer een tweede borehole ter hoogte van de teen van het buitentalud van de dijk (-16,90 m in deze case)
- ⇒ Tip: laat de hoogte van de indringingslaag 10 cm verspringen, dit wordt later gebruikt bij definiëren stijghoogtes



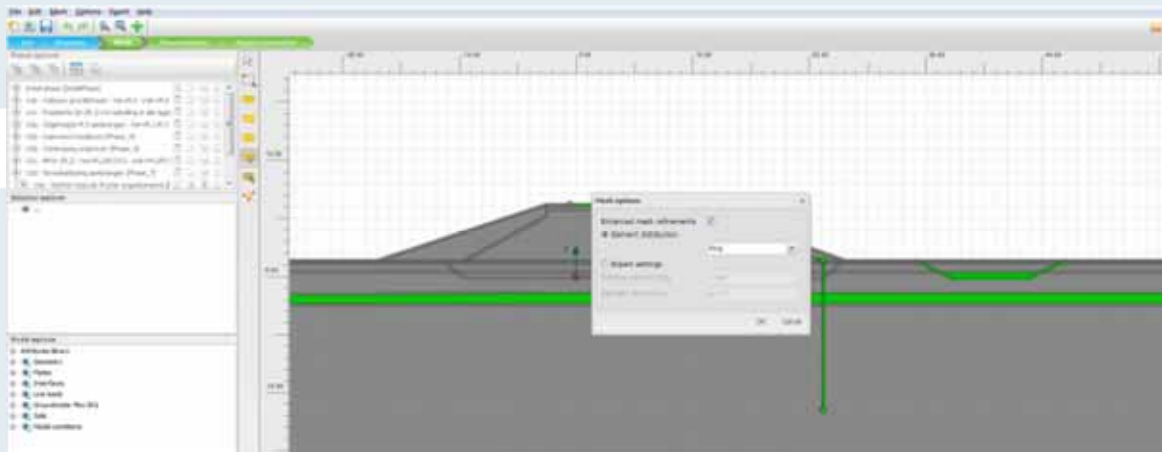
# Opzet PLAXIS-model – Case (17)

- Ga naar het tabblad 'Mesh' om het mesh te laten genereren
- Kies "fine" als basis
- Lokaal kan het mesh fijner gekozen worden (0.2)



# Opzet PLAXIS-model – Case (18)

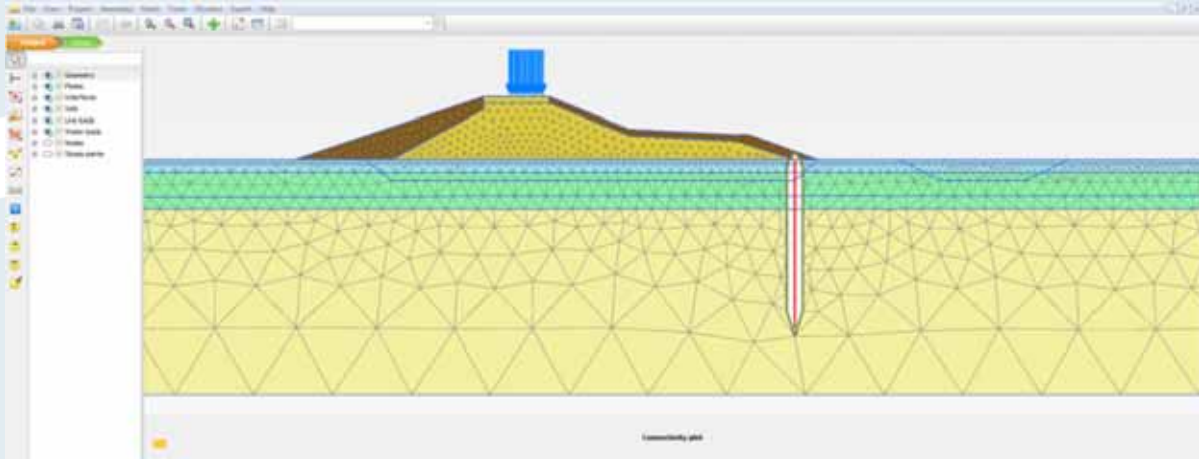
- Fijnheid van het mesh kan invloed hebben op de uitkomsten, gevoeligheid kan achteraf getoetst worden.





## Opzet PLAXIS-model – Case (19)

- ⇒ Het gegenereerde mesh kan worden gecontroleerd bij



## Opzet PLAXIS-model – Case (20)

- ⇒ Bij kleine laagdiktes kunnen door ongunstige hoogte/breedte-verhoudingen van elementen problemen ontstaan
- ⇒ Bij 15-knoopselementen een grensverhouding van:  $h/b \leq 8$
- ⇒ Mogelijk nodig om het mesh lokaal te verfijnen, wanneer niet aan deze eis wordt voldaan
- ⇒ Kwaliteit van mesh kan worden gecontroleerd in Output van PLAXIS

## Opzet PLAXIS model - Tweede set parameters

- In een EEM analyse moeten per grondlaag twee (aan elkaar gerelateerde) parametersets voor de sterkte worden gebruikt:
  - Niet-associatieve ( $\varphi_k \neq \psi_k$ ) karakteristieke waarden van de schuifsterkte (M1)
  - Opgeschaalde associatieve ( $\varphi_d = \psi_d$ ) rekenwaarden van de schuifsterkte (M2)
  
- In een gedraineerde sterkte-reductie fase met een niet-associatief ( $\varphi_k \neq \psi_k$ ) materiaal model is het mogelijk in een ontlastingsstak terecht te komen, wat ongewenst is
  
- Om dit te voorkomen moet een associatief ( $\varphi_d = \psi_d$ ) model worden gebruikt

## Opzet PLAXIS model - Tweede set parameters

*Van niet-associatief (M1) naar associatief (M2):*

1. M1 (niet-associatief ( $\varphi_k \neq \psi_k$ )) grondparameterset op basis van grondonderzoek, relaties of laboratoriumtesten
  
2. Karakteristieke waarden met materiaalfactoren ( $\gamma_m$ ) om tot rekenwaarden te komen
  
3. Van M1 (niet-associatief ( $\varphi_d \neq \psi_d$ )) naar M2 (associatief ( $\varphi_d = \psi_d$ )) gebruik het Best Guess Equivalent model



# Opzet PLAXIS model - Tweede set parameters

Niet-associatieve parameterset (M1) - Karakteristieke waarden

Niet-associatieve parameterset (M1) - ontwerpwaarden

	$\gamma_{nat,rep}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_{na;k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'_{na;k}$ [°]	$\psi'_{na;k}$ [°]	$\tan(\phi'_{na;k})$ [-]	$\tan(\psi'_{na;k})$ [-]	$\gamma_{m;c}$ [-]	$\gamma_{m;\tan(\phi)}$ [-]	$\gamma_{nat,d}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_{na;d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tan(\phi_{na;d})$ [-]	$\tan(\psi_{na;d})$ [-]	$\phi'd$ [°]	$\psi'd$ [°]
Klei, toplaag	18,2	5,0	25,0	0,0	0,47	0,00	1,25	1,20	18,2	4,0	0,39	0,00	21,2	0,0
Klei, organisch	15,2	2,9	17,1	0,0	0,31	0,00	1,25	1,20	15,2	2,3	0,26	0,00	14,4	0,0
Zand, Pleistoceen	20,0	1,0	30,0	0,0	0,58	0,00	1,00	1,20	20,0	1,0	0,48	0,00	25,7	0,0
Klei, deklaag	17,0	5,0	25,0	0,0	0,47	0,00	1,25	1,20	17,0	4,0	0,39	0,00	21,2	0,0
Zand, kern	20,0	0,0	32,8	0,0	0,64	0,00	1,00	1,20	20,0	0,0	0,54	0,00	28,2	0,0

Associatieve parameterset (Best Equivalent Guess model)

 Bepalen opschaalfactor  $\gamma_s$ 

Opgeschaalde associatieve parameterset M2

	$\beta$ [°]	R [-]	$\sin(\phi_{a;d})$ [-]	$\phi_{a;d}$ [°]	$\psi_{a;d}$ [°]	$c_{a;d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tan(\phi_{a;d})$ [-]	$\tan(\psi_{a;d})$ [-]	$\gamma_{s;c}$ [-]	$\gamma_{s;\phi}$ [-]	$c_{a;d2}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\tan(\phi_{a;d2})$ [-]	$\tan(\psi_{a;d2})$ [-]	$\phi_{a;d2}$ [°]	$\psi_{a;d2}$ [°]
Klei, toplaag	47,1	0,36	0,35	20,7	20,7	3,9	0,38	0,38	1,28	1,23	5,1	0,49	0,49	26,2	26,2
Klei, organisch	46,4	0,25	0,25	14,2	14,2	2,3	0,25	0,25	1,26	1,21	3,0	0,33	0,33	18,2	18,2
Zand, Pleistoceen	47,6	0,43	0,42	24,8	24,8	1,0	0,46	0,46	1,04	1,25	1,2	0,60	0,60	31,0	31,0
Klei, deklaag	47,1	0,36	0,35	20,7	20,7	3,9	0,38	0,38	1,28	1,23	5,1	0,49	0,49	26,2	26,2
Zand, kern	47,8	0,47	0,45	27,0	27,0	0,0	0,51	0,51	0,00	1,26	0,0	0,66	0,66	33,5	33,5
									$\gamma_{s,max}$		1,28				
									$\gamma_s$		1,30				

## Meer informatie

- Algemeen: [www.opleidingen.stowa.nl](http://www.opleidingen.stowa.nl)
- Cursusmateriaal: Presentaties, video's en oefenbestanden staan op [www.wbigebruikers.deltares.nl](http://www.wbigebruikers.deltares.nl) (zie onder 'opleidingen WBI')  
  
 Presentaties ook beschikbaar via [www.opleidingen.stowa.nl](http://www.opleidingen.stowa.nl)  
  
 Video's ook beschikbaar via [http://www.stowavideo.nl/pdf/INNW/modulen\\_overzicht\\_videos.pdf](http://www.stowavideo.nl/pdf/INNW/modulen_overzicht_videos.pdf)
- Vragen over cursussen: [opleidingen@stowa.nl](mailto:opleidingen@stowa.nl)
- Vragen over WBI-  
software en Generale  
repetitie: [helpdeskGR@deltares.nl](mailto:helpdeskGR@deltares.nl)